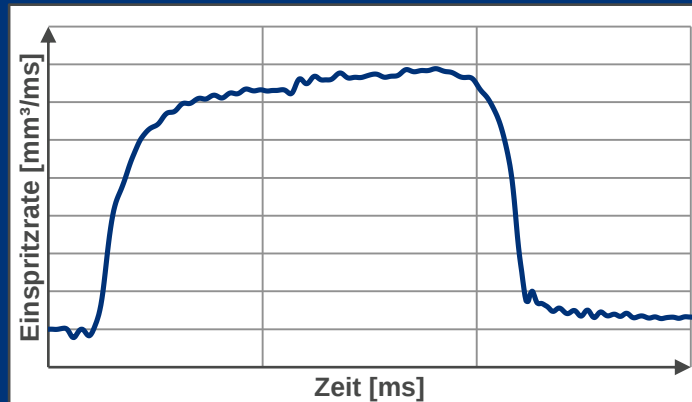


ANALYSE THERMISCHER ROHRLEITUNGSEFFEKTE AM BEISPIEL EINES EINSPRITZVERLAUFSINDIKATORS (EVI)



Denis Pendovski, M.Sc.

Dr.-Ing. David van Bebber



Eine Idee weiter

INHALTSVERZEICHNIS

1

Einleitung

2

Analyse

3

Ermittlung des tatsächlichen Einspritzverlaufs

4

„Thermo-Rohr“

5

Zusammenfassung



Eine Idee weiter

EINLEITUNG

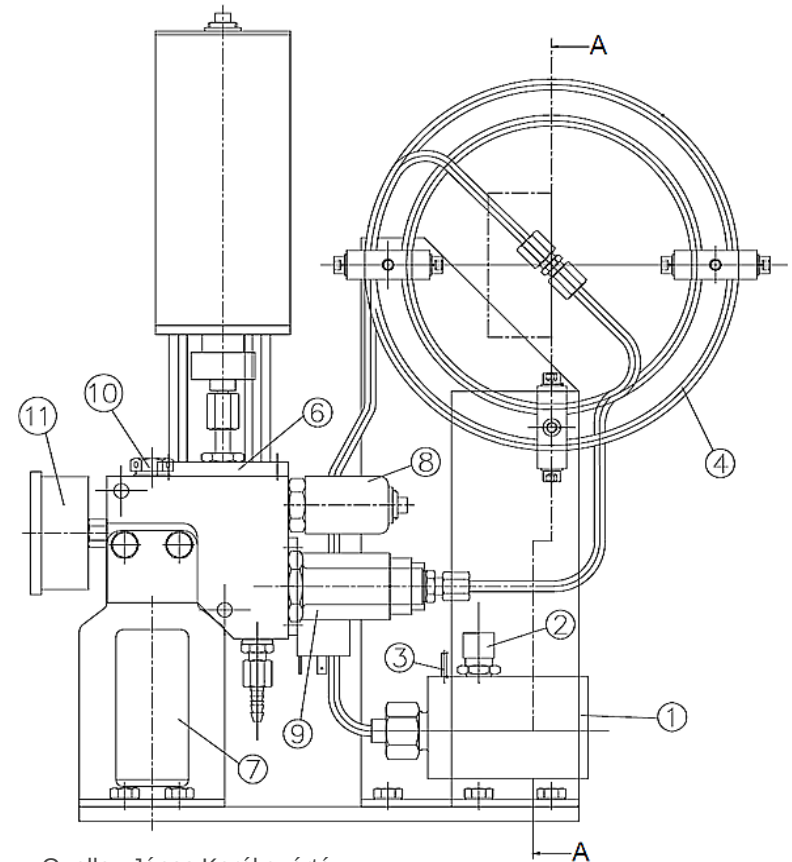
Die Kenntnis des zeitlichen Verlaufs der Einspritzrate ist sehr wichtig für eine nachhaltige Entwicklung des Verbrennungsmotors.

- Gemischbildung
- Input-Größe für CFD-Simulationen
- Kraftstoffverbrauch



Messgeräte
zur Bestimmung der Einspritzrate

Einspritzverlaufsindikator



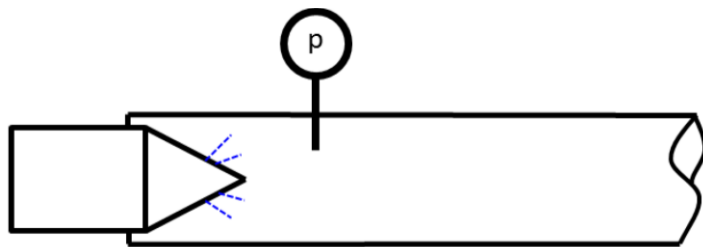
Quelle: János Kerégyártó
Ermittlung des Einspritzverlaufs an Diesel-Injektoren
Dissertation, Universität Magdeburg, 2009

EINLEITUNG

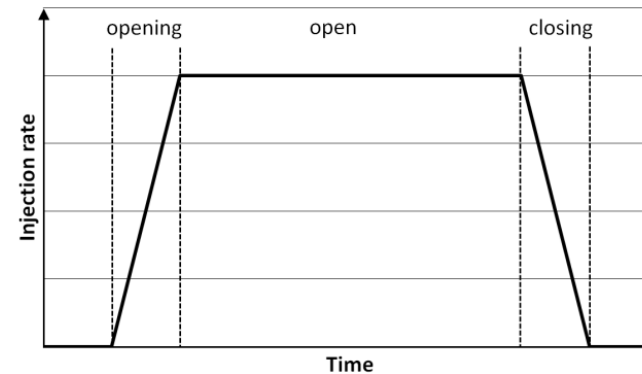
Physikalisches Prinzip:

- Einspritzung in ein mit Kraftstoff gefülltes Rohr.
- Messung der Druckänderung, welche durch die entlang des Rohres fortlaufende Druckwelle verursacht wird.
- Mithilfe der Joukowsky-/Allievi-Gleichung kann der Einspritzverlauf bestimmt werden.

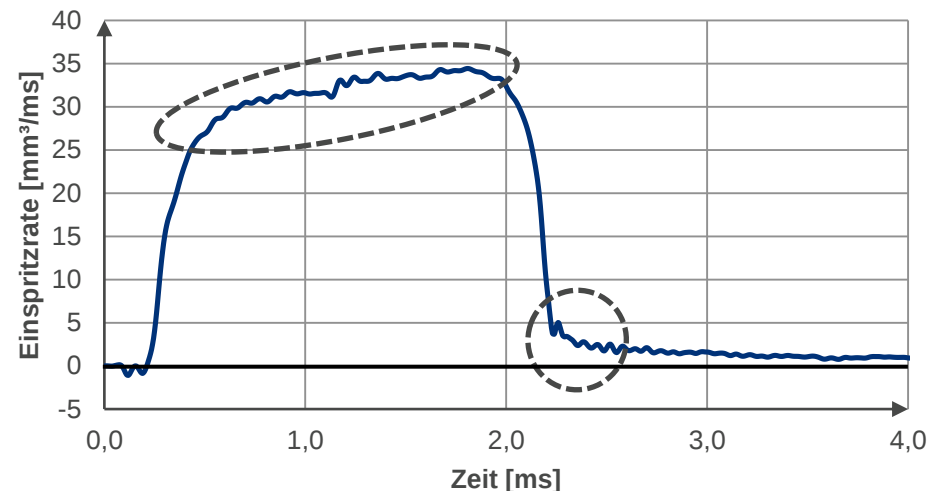
$$dp = \rho a du$$
$$\Leftrightarrow Q(t) = \frac{A}{\rho a} \cdot \Delta p(t)$$



Idealisierter Einspritzverlauf:



Messung:



Unplausible Abweichungen im Vergleich zur idealisierten Betrachtungsweise

INHALTSVERZEICHNIS

1

Einleitung

2

Analyse

3

Ermittlung des tatsächlichen Einspritzverlaufs

4

„Thermo-Rohr“

5

Zusammenfassung



Eine Idee weiter

Joukowski/Alievy Gleichung

Die Joukowski-/Allievi-Gleichung basiert auf der linearen Wellengleichung, die mit Hilfe verschiedener Vereinfachungen aus der nicht-linearen Wellengleichung hergeleitet wird.

$$\frac{\partial p}{\partial t} \cdot \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{K} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\rho} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{2f|u|u}{D} \right) + \frac{1}{K} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = 0$$

- Keine Reibungsverluste
- Konstante Stoffwerte entlang des Rohres

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - a^2 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = 0 \quad (\text{lineare Wellengleichung})$$



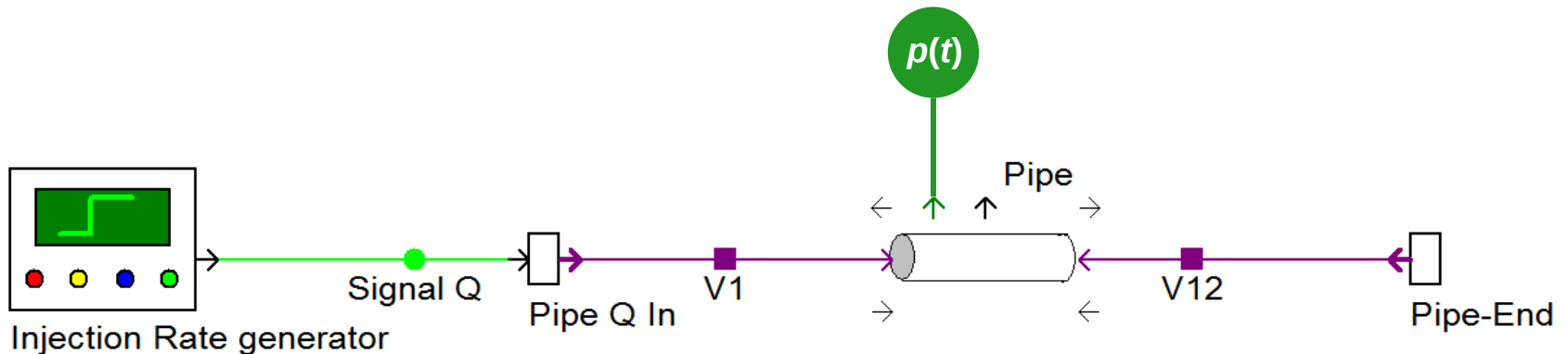
$$dp = \rho a du$$

$$\Leftrightarrow Q(t) = \frac{A}{\rho a} \cdot \Delta p(t)$$

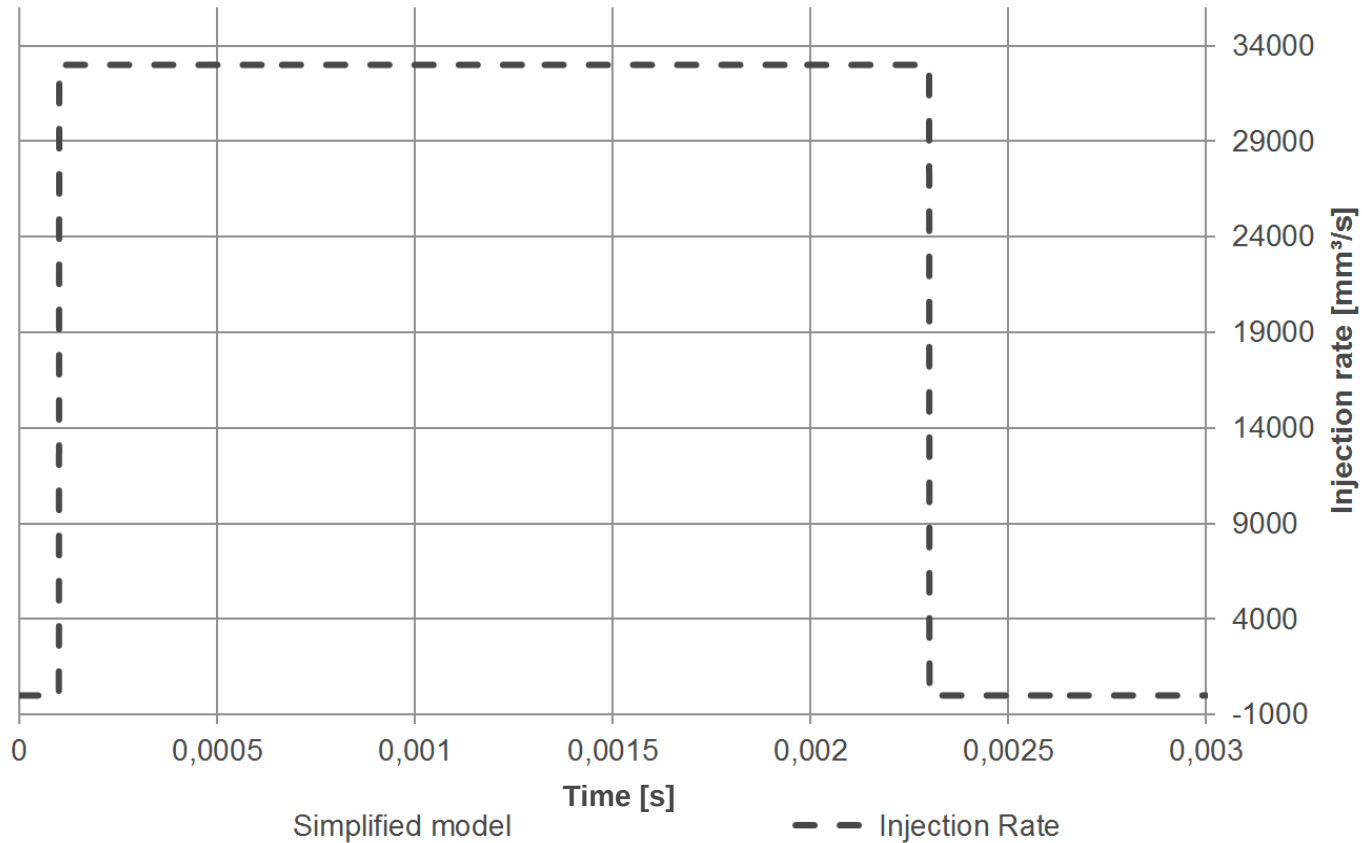
Simulative Einflussanalyse

Rohrmodell in DSHplus

- Das Modell wird im ersten Schritt so reduziert, dass die erwähnten Vereinfachungen gelten.
- Betrachtung eines konstanten Rohrdurchmessers.
- Der Einspritzverlauf wird als Rechteckfunktion abgebildet.

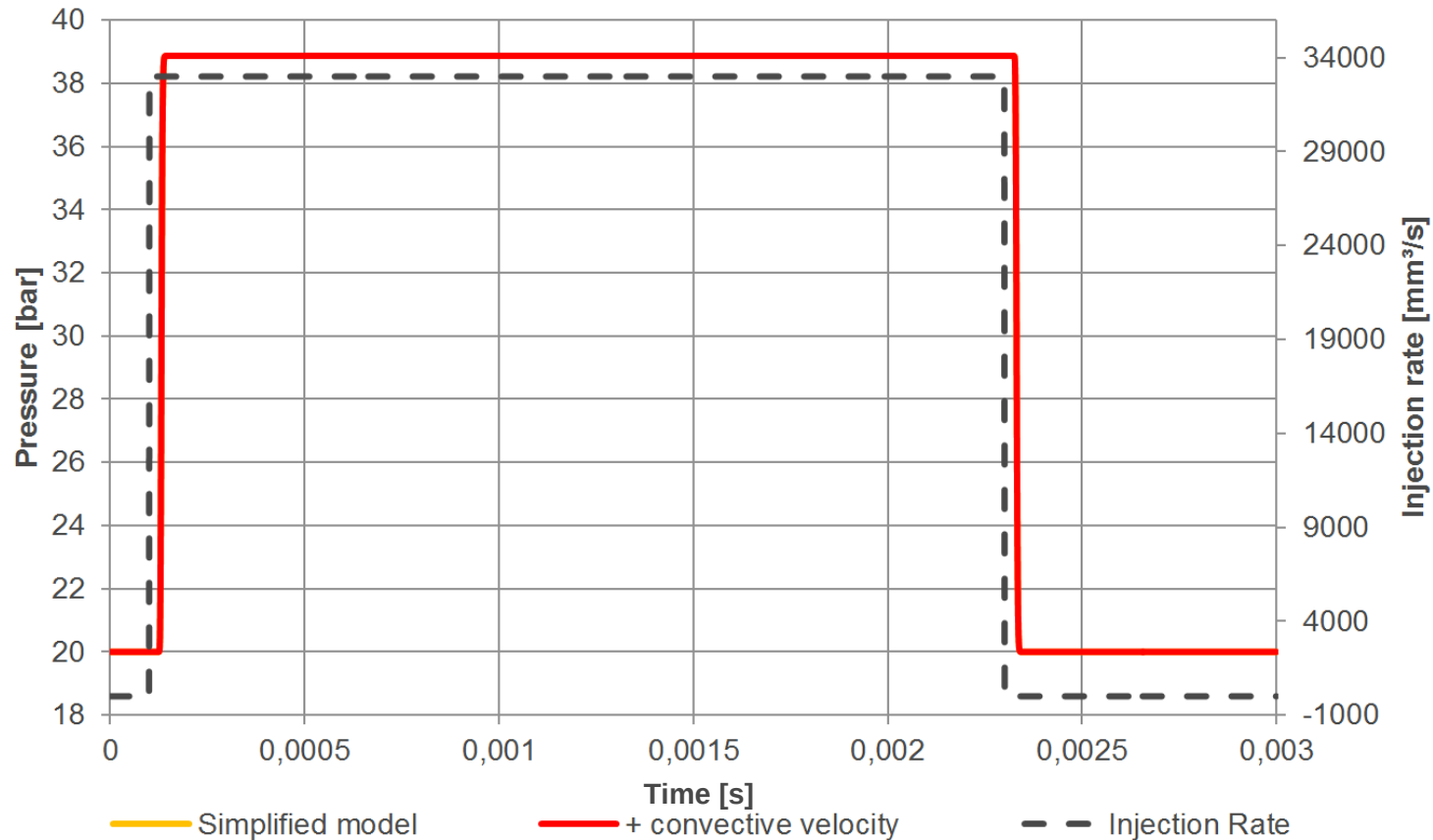


Einspritzverlauf



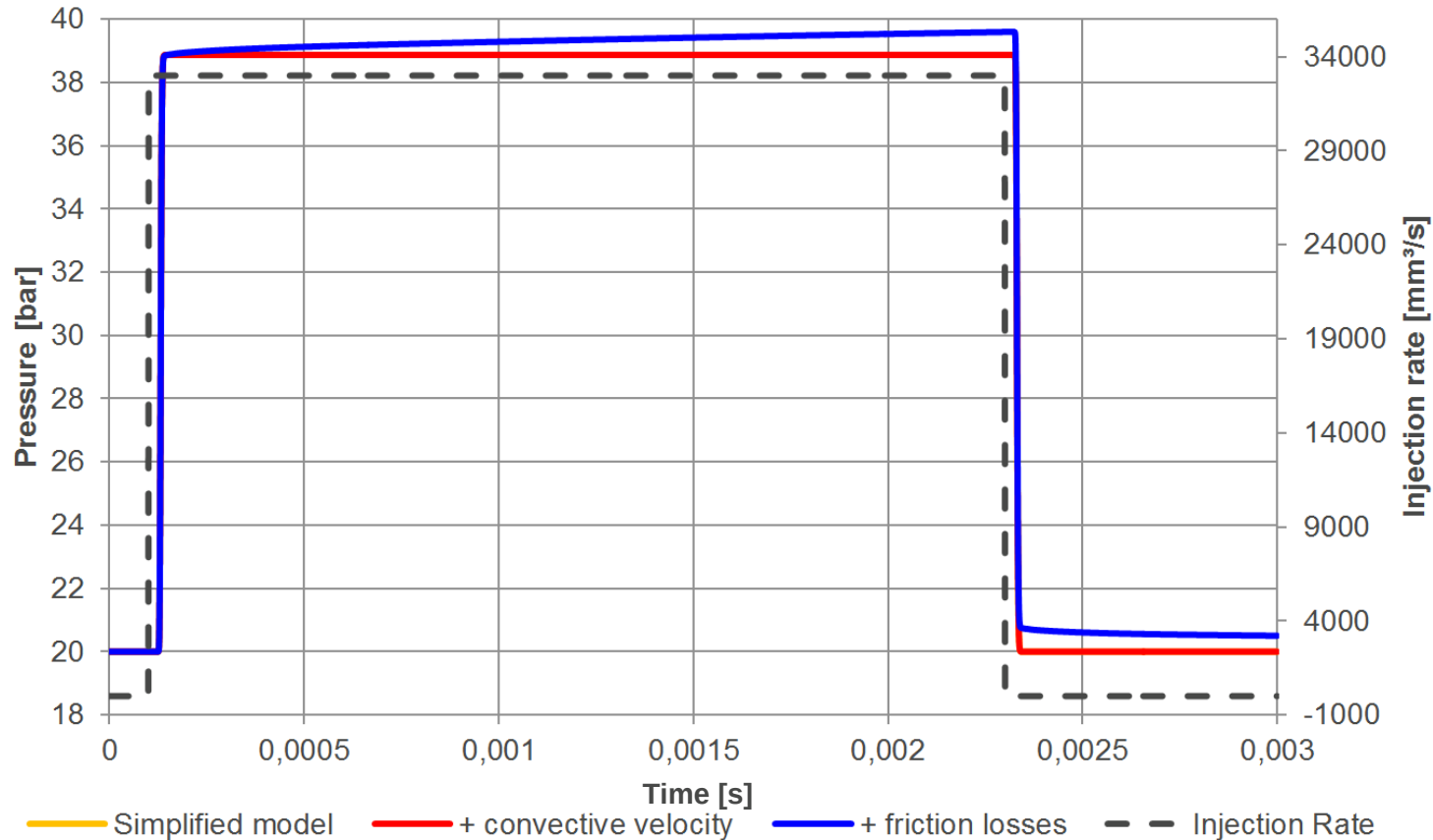
Vereinfachtes Modell nach Joukowsky

- Keine Reibungsverluste
- Konstante Stoffwerte entlang des Rohres



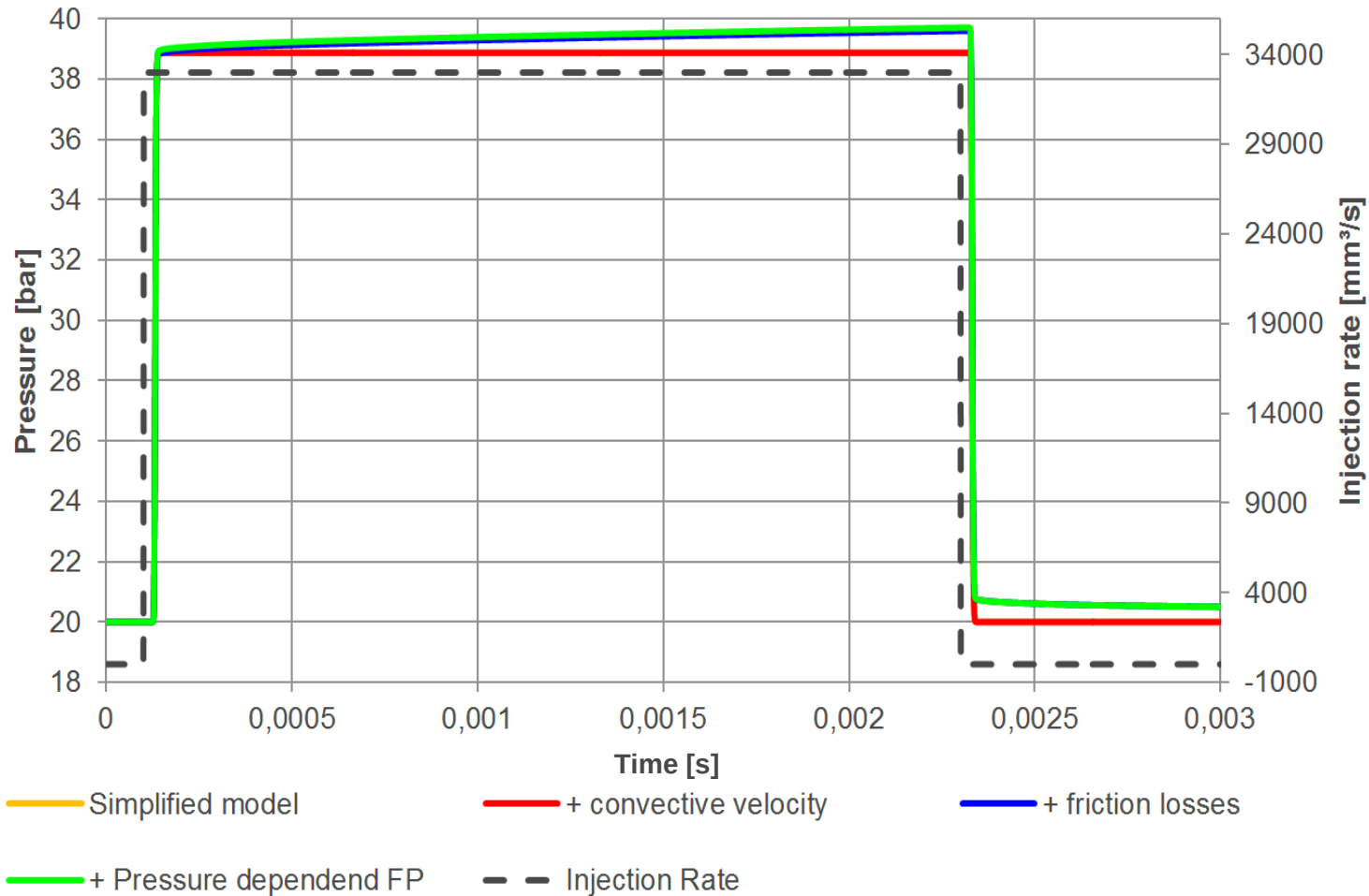
Berücksichtigung der Reibungsverluste

- Keine Reibungsverluste
- Konstante Stoffwerte entlang des Rohres



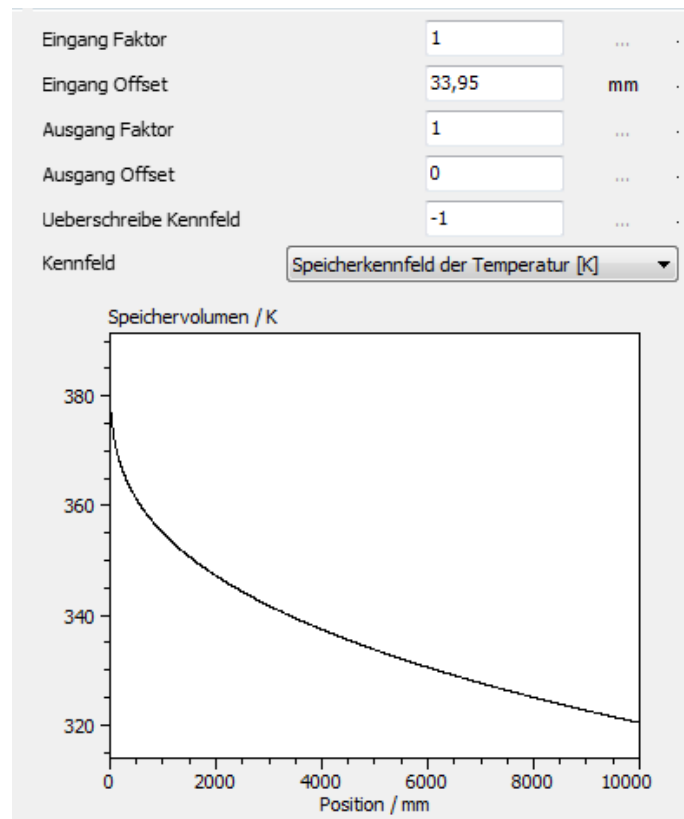
Druckabhängige Stoffwerte

- Keine Reibungsverluste
- Konstante Stoffwerte entlang des Rohres



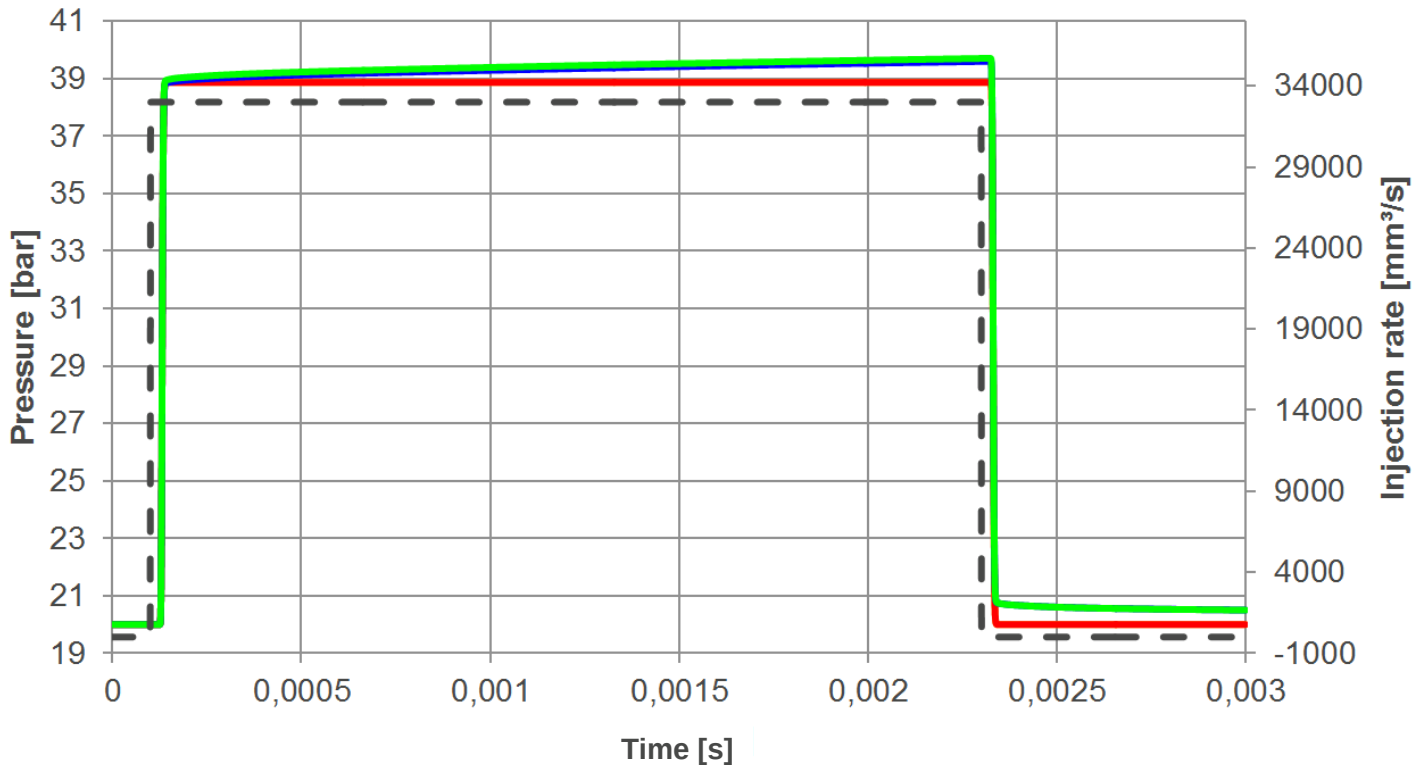
Erweiterung des DSHplus – Rohrmodells

- Einlesen eines Temperaturverlaufs in Längsrichtung des Rohres über ein Kennfeld.
- Die Stoffwerte eines jeden Rohrelementes werden in Abhängigkeit der dort anliegenden Temperatur berechnet.



Temperaturabhängige Stoffwerte

- Keine Reibungsverluste
- Konstante Stoffwerte entlang des Rohres



— Simplified model

— + convective velocity

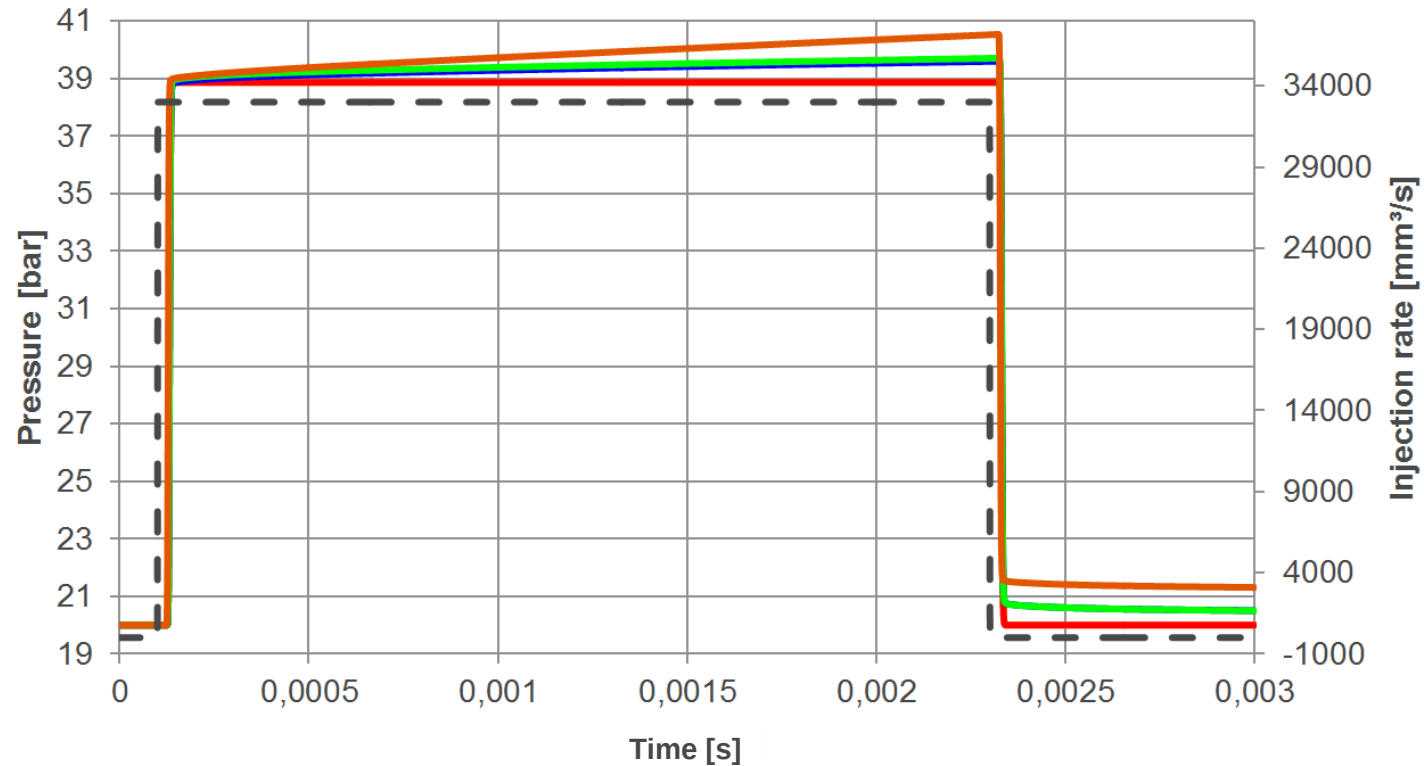
— + friction losses

— + Pressure dependent FP

- - Injection Rate

Temperaturabhängige Stoffwerte

- Keine Reibungsverluste
- Konstante Stoffwerte entlang des Rohres



— Simplified model

— + convective velocity

— + friction losses

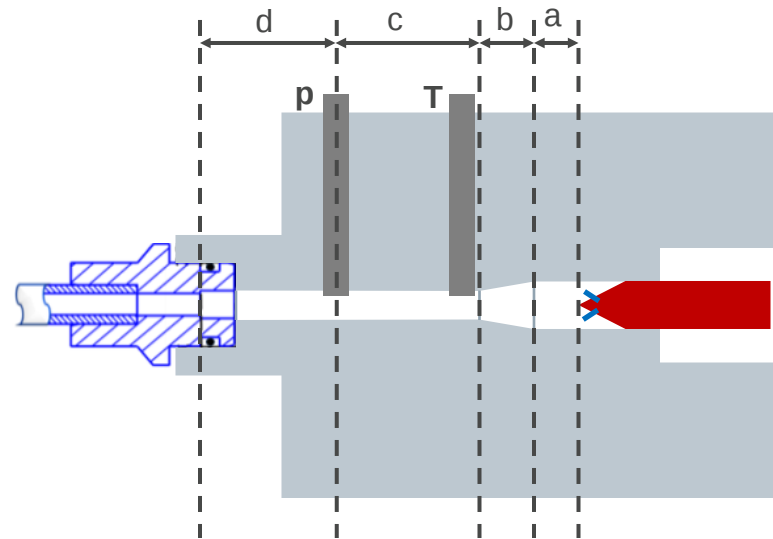
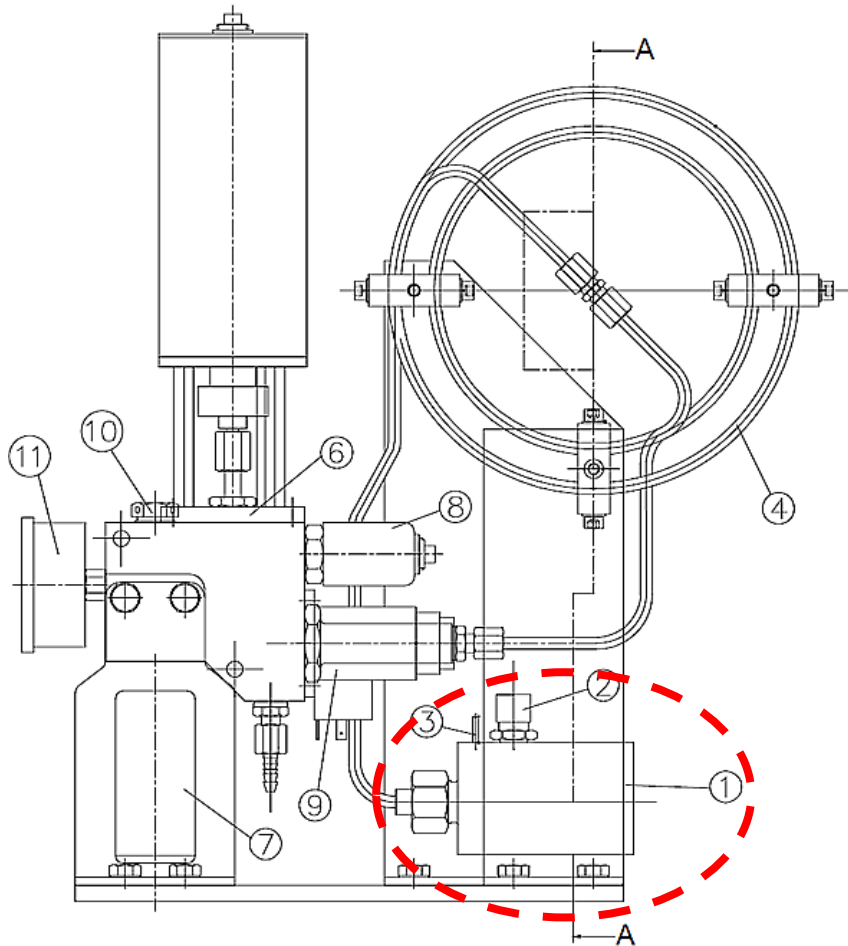
— + Pressure dependent FP

— + Temp dependent FP

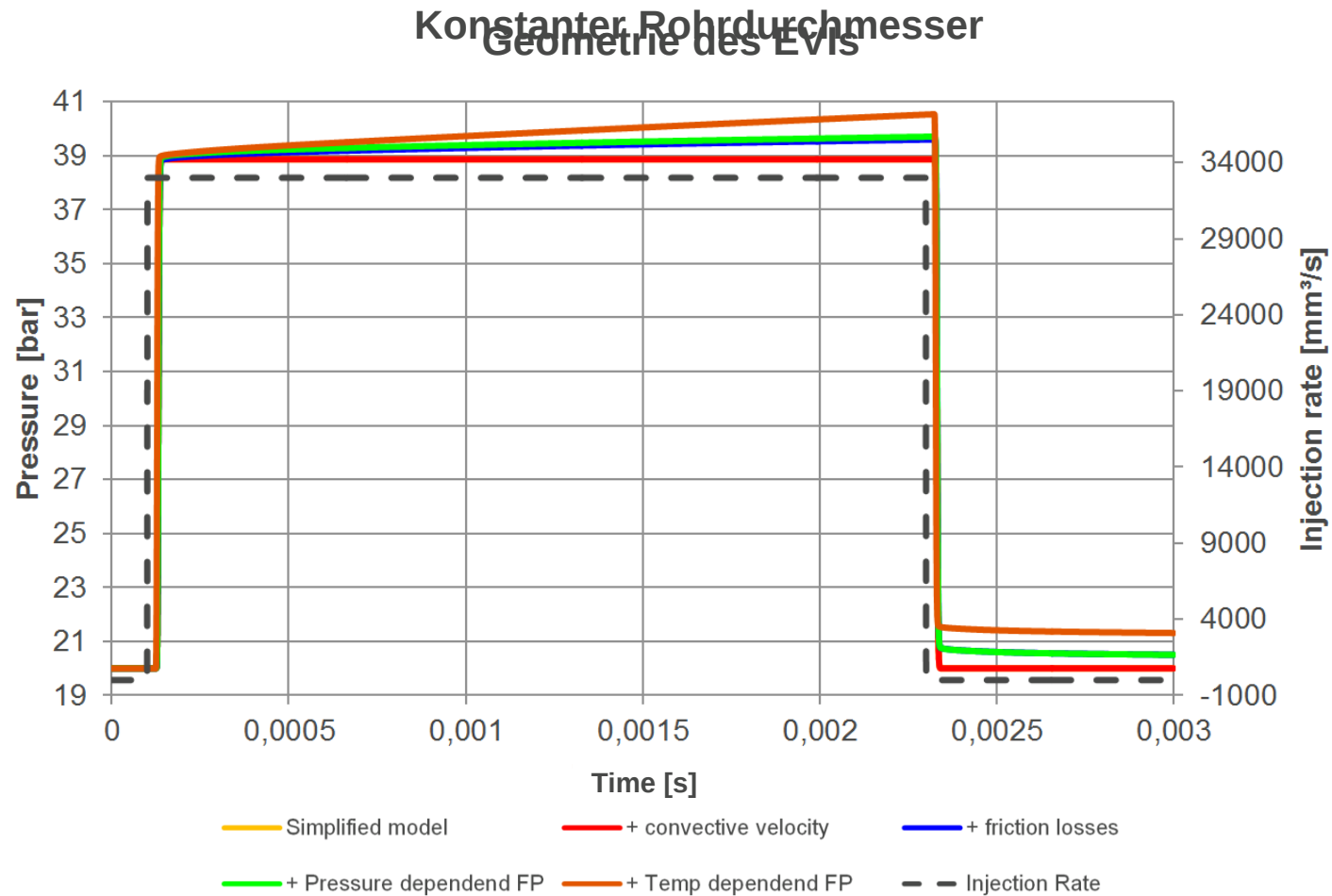
— — Injection Rate

Simulation des Einspritzverlaufsindikators (EVI)

- Injektoranschluss (1)
- Drucksensor (2)
- 9 Meter langes Rohr (4)
- Reflexionsarmer Leitungsabschluss (6) – (11)

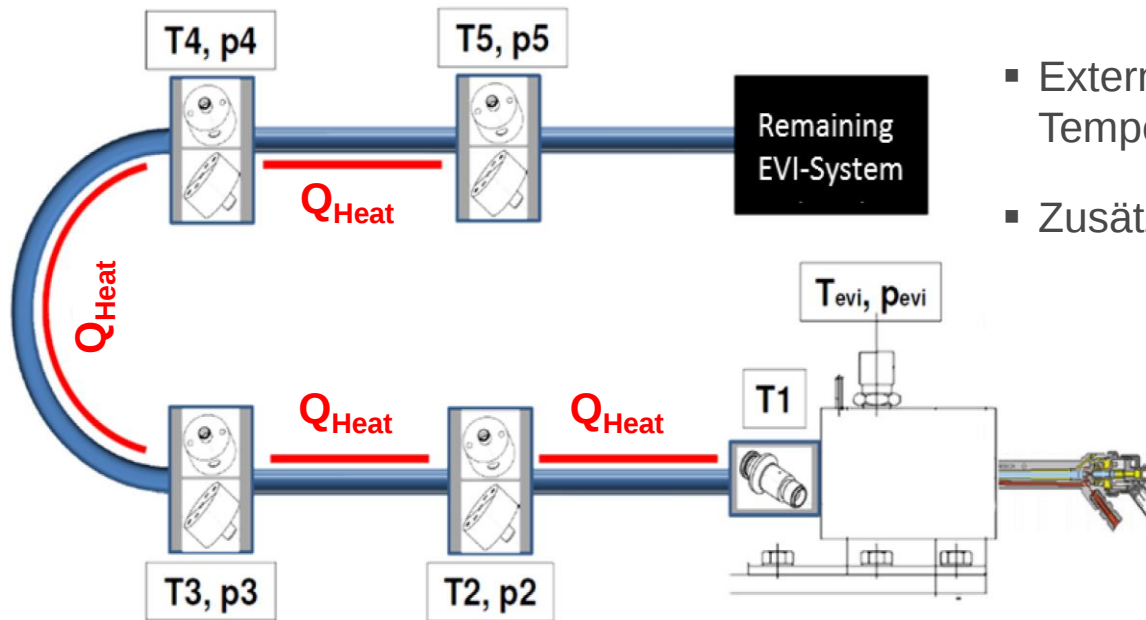


Geometrieeinfluss



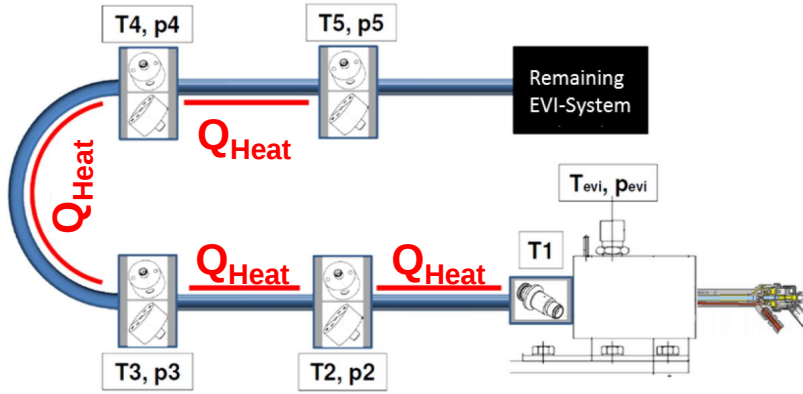
Die Geometrie des EVIs verursacht eine Abrundung der Ecken, sowie einen kleineren Druckaufbaugradienten.

Modifikation des EVIs und Messung

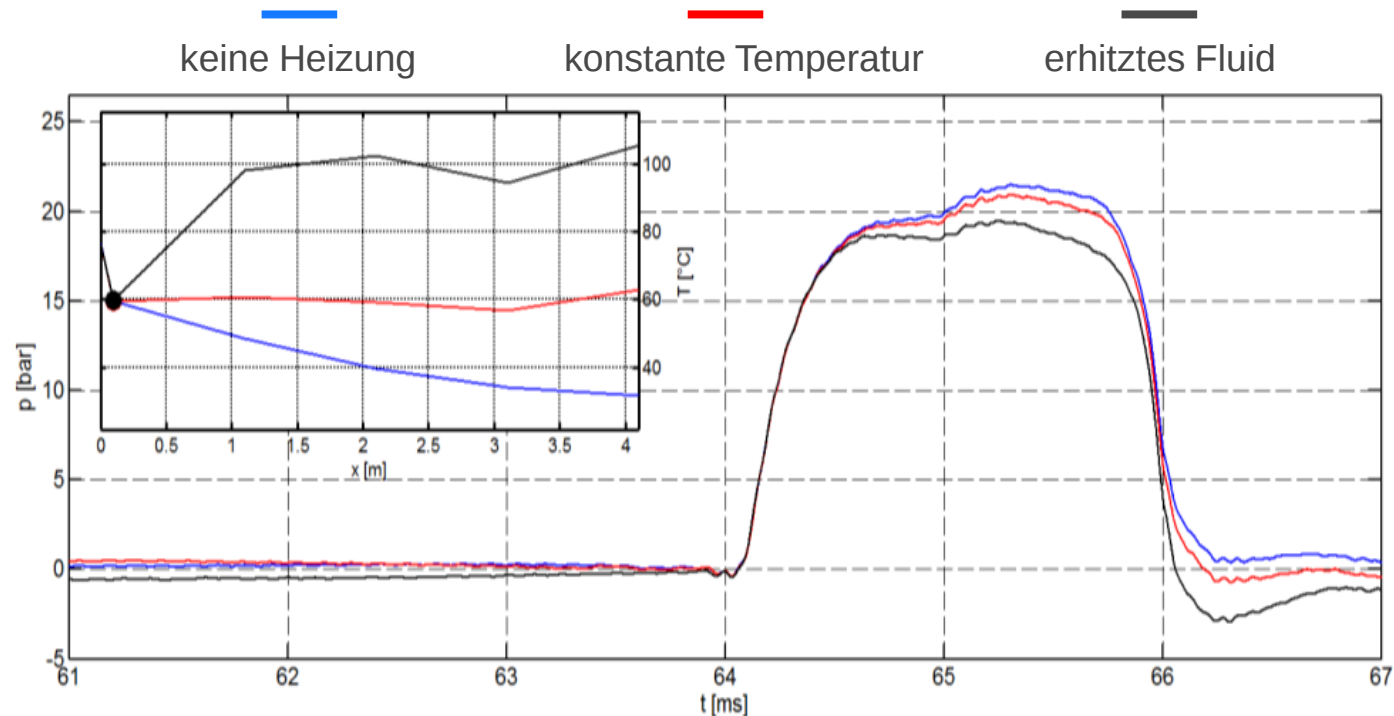


- Externe Heizelemente um den Temperaturverlauf regeln zu können
- Zusätzliche Sensoren

Modifikation des EVIs und Messung



- Externe Heizelemente um den Temperaturverlauf regeln zu können
- Zusätzliche Sensoren



INHALTSVERZEICHNIS

1

Einleitung

2

Analyse

3

Ermittlung des tatsächlichen Einspritzverlaufs

4

„Thermo-Rohr“

5

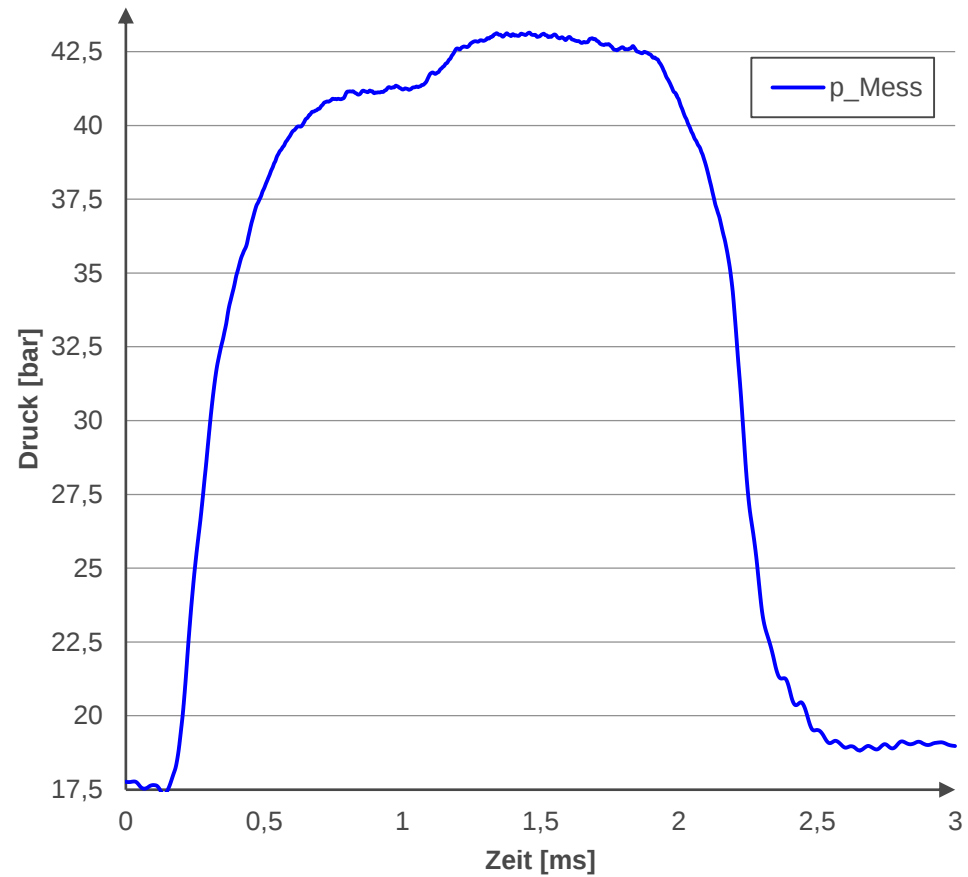
Zusammenfassung



Eine Idee weiter

Kalkulation des tatsächlichen Einspritzverlaufs

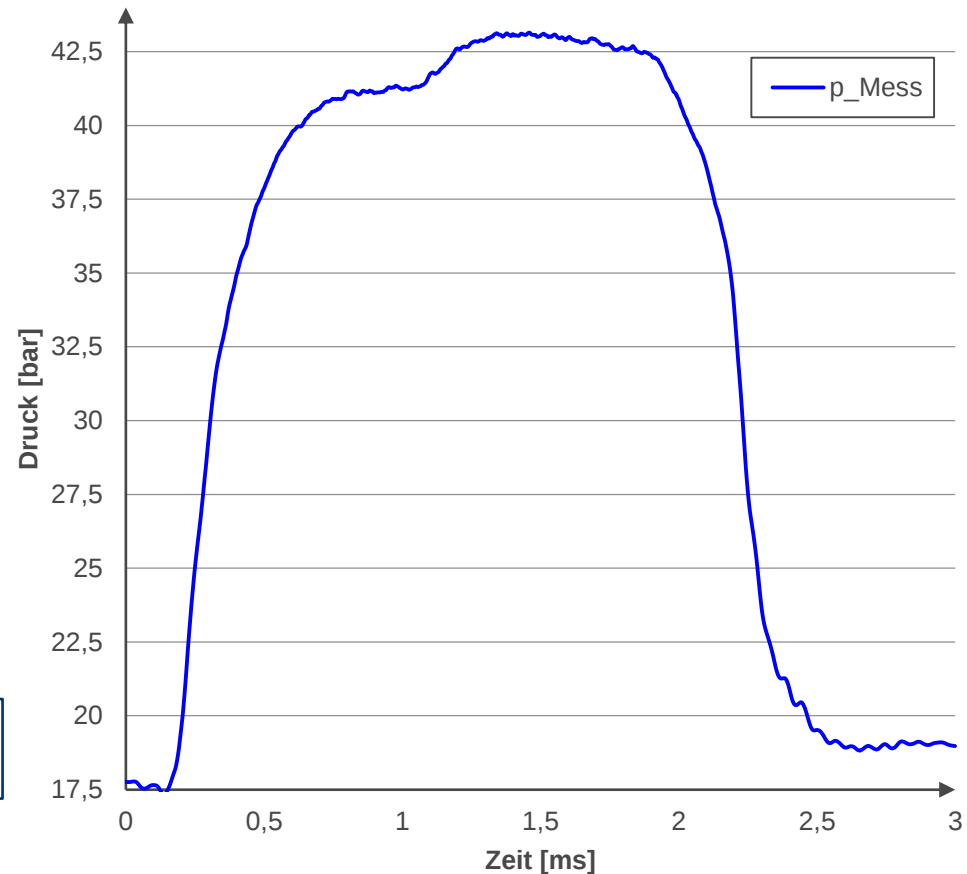
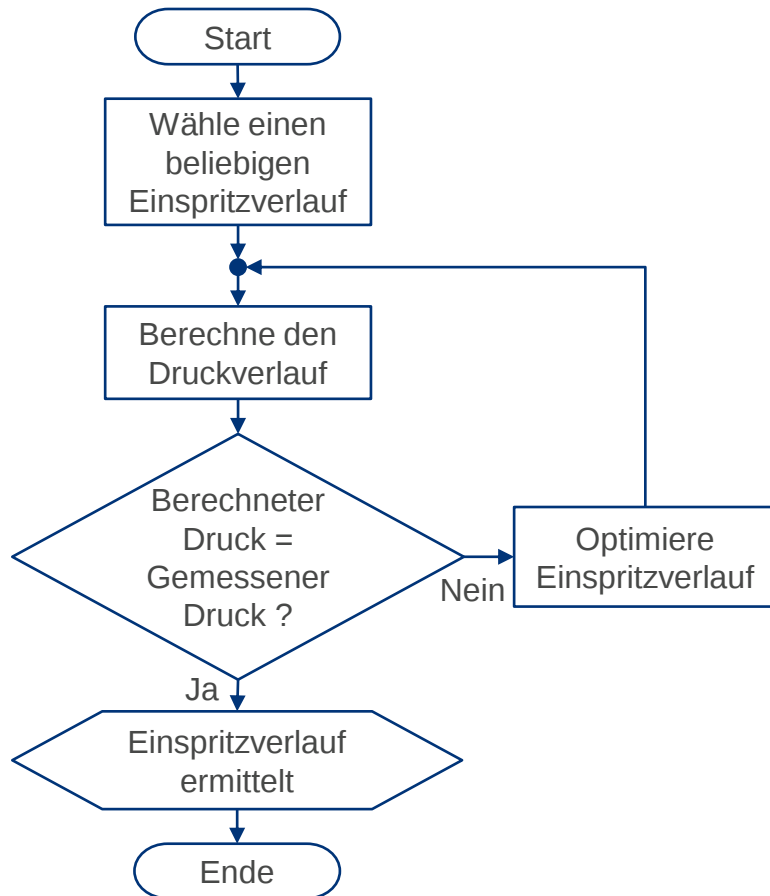
1. Druckmessung mit EVI



Kalkulation des tatsächlichen Einspritzverlaufs

1. Druckmessung mit EVI

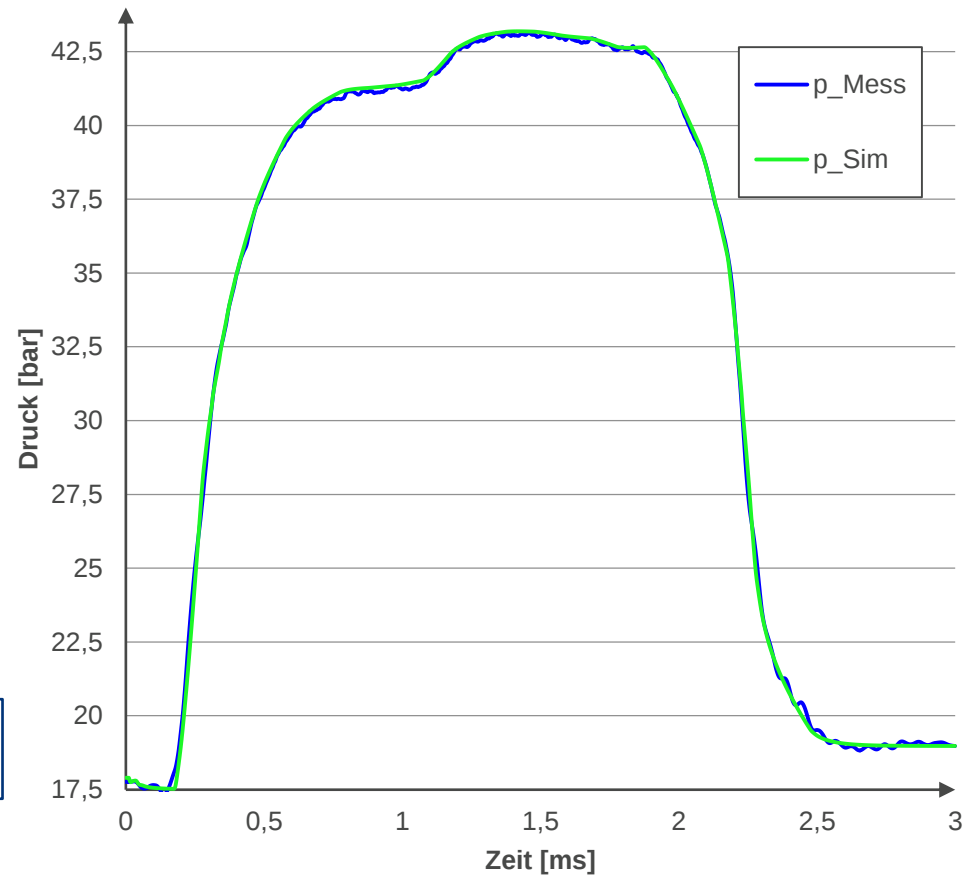
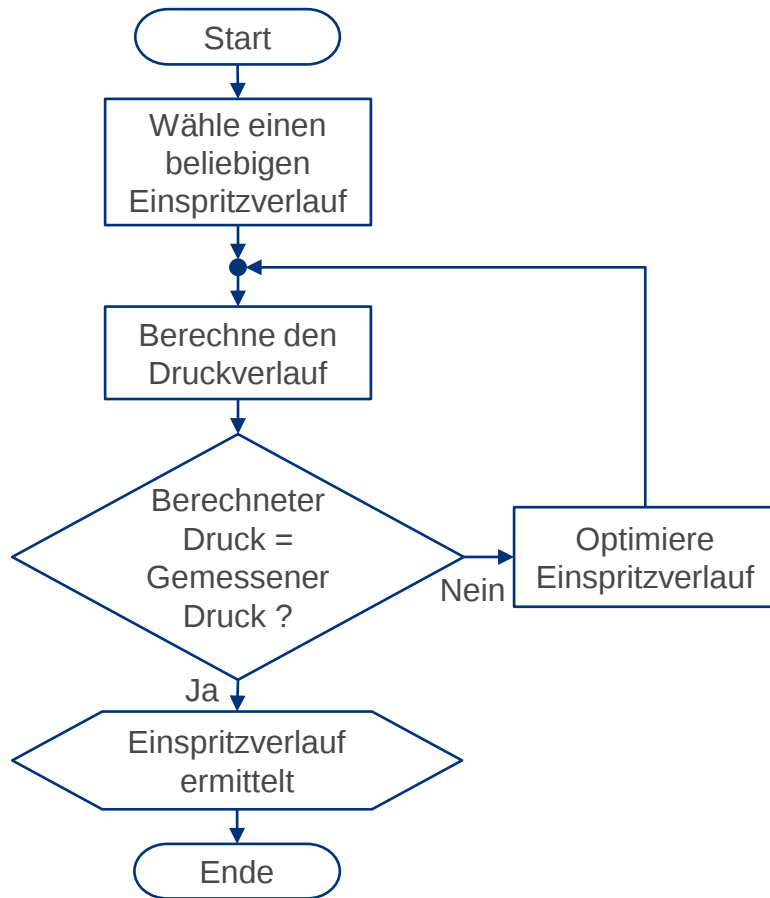
2. Optimierungsverfahren



Kalkulation des tatsächlichen Einspritzverlaufs

1. Druckmessung mit EVI

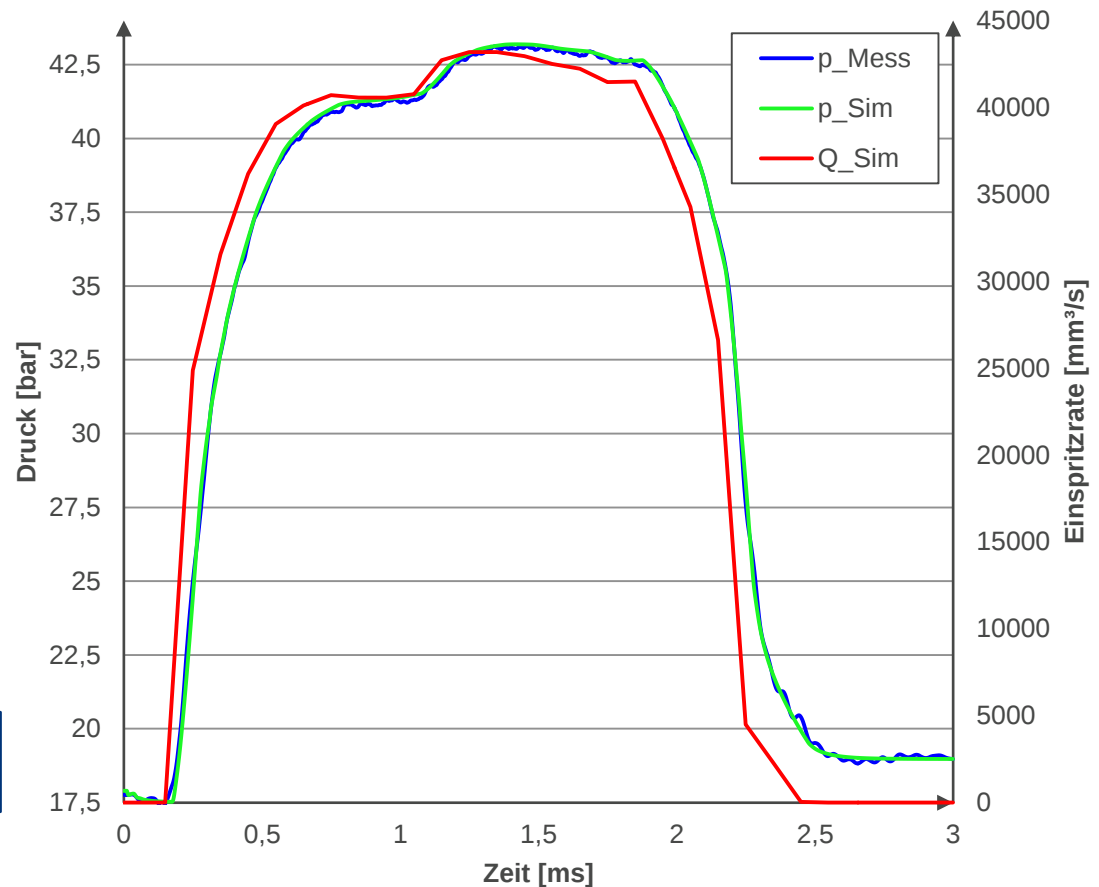
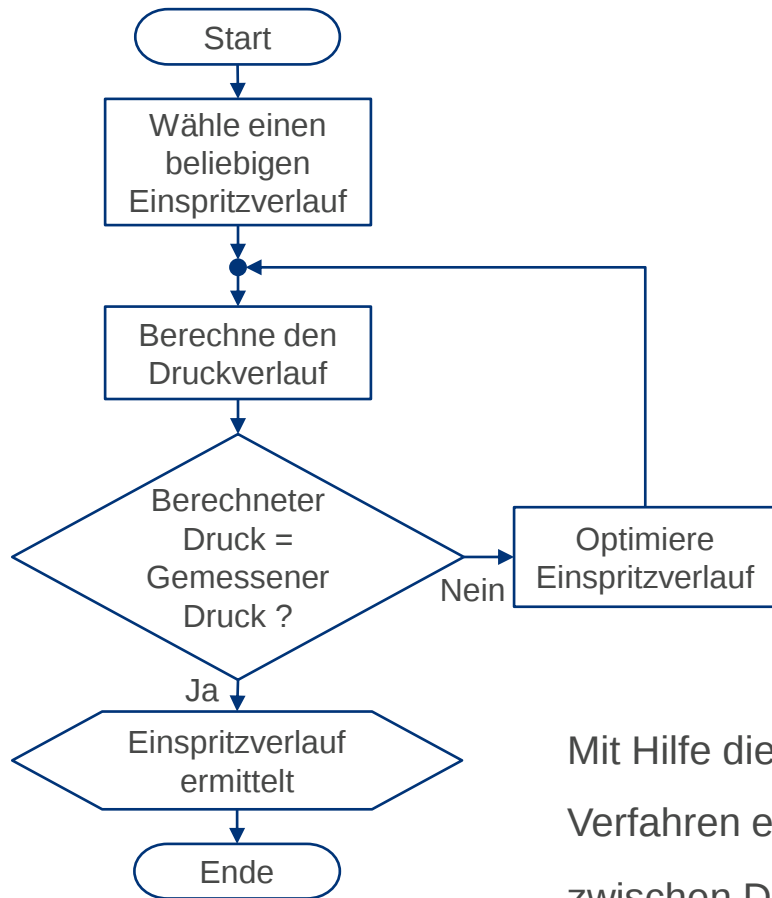
2. Optimierungsverfahren



Kalkulation des tatsächlichen Einspritzverlaufs

1. Druckmessung mit EVI

2. Optimierungsverfahren



Mit Hilfe dieser Methode wird der Einspritzverlauf in einem iterativen Verfahren ermittelt, sodass die fehlerbehaftete proportionale Annahme zwischen Druck- und Einspritzverlauf korrigiert wird.

INHALTSVERZEICHNIS

1

Einleitung

2

Analyse

3

Ermittlung des tatsächlichen Einspritzverlaufs

4

„Thermo-Rohr“

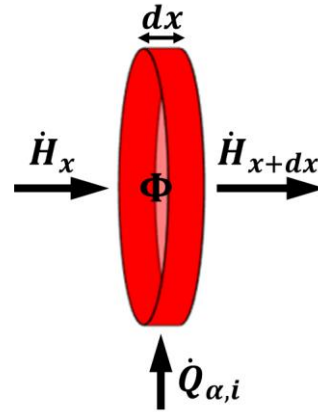
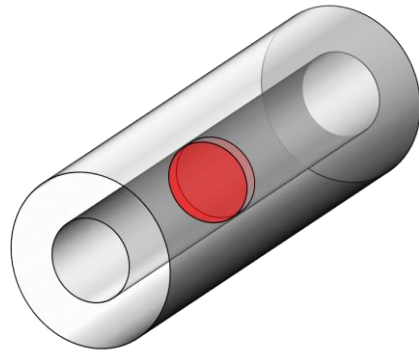
5

Zusammenfassung



Eine Idee weiter

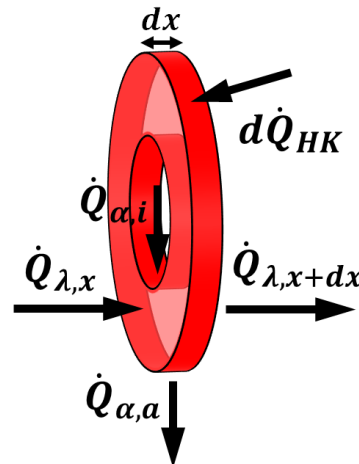
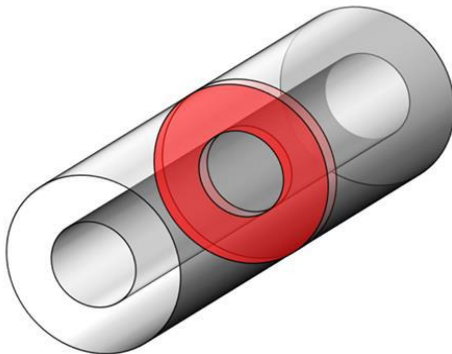
Neues Rohrmodell



Fluid

Charakteristikenverfahren
(Nachteil: Axiale Wärmeleitung im Fluid kann nicht berechnet werden)

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T_F}{\partial t} + u \frac{\partial T_F}{\partial x} \right) - \frac{T}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial t} + u \frac{\partial p}{\partial x} \right) - \frac{4}{d_i} \alpha_i (T_F - T_w) - u \frac{\Delta p}{\Delta x} = 0$$

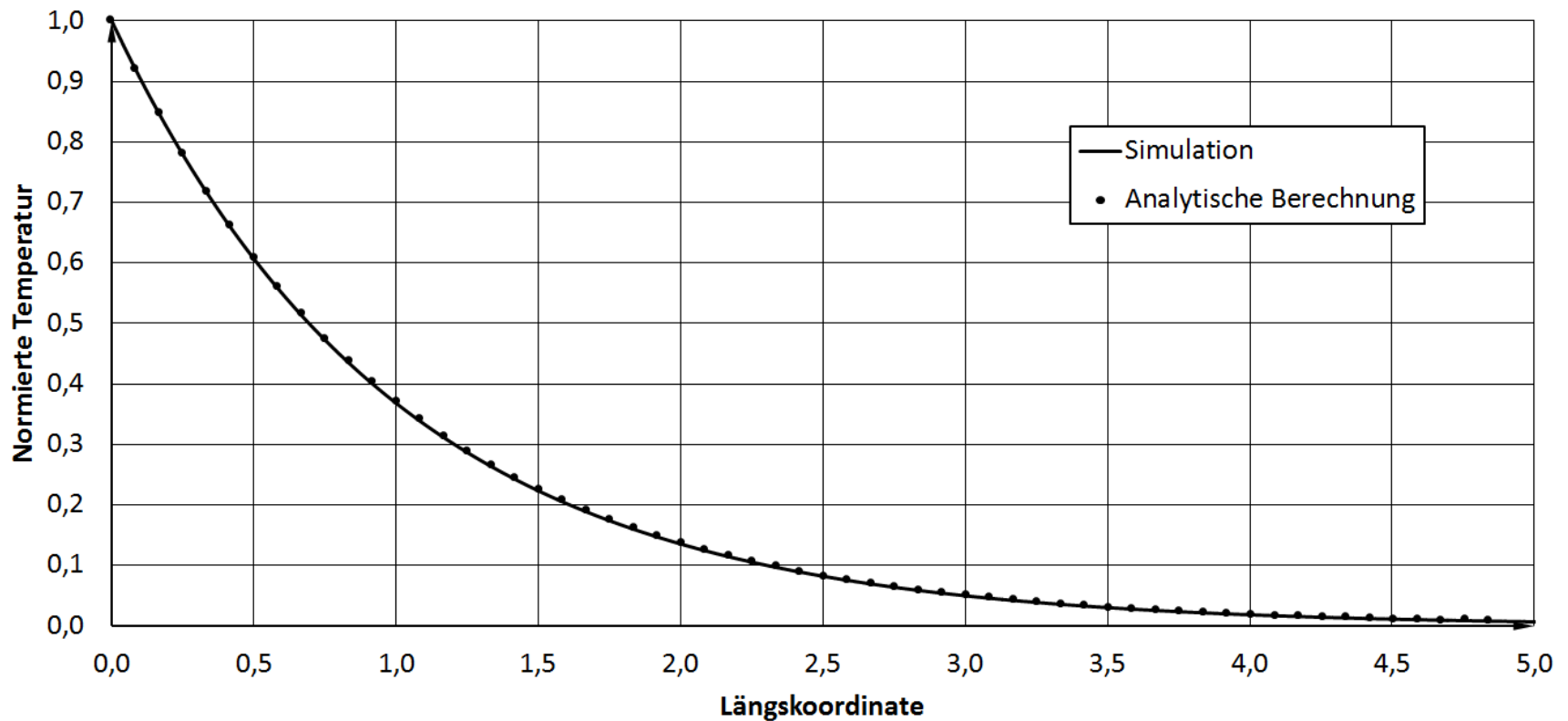


Rohrwand

Explizites
Finite-Differenzen-Verfahren

$$\rho_W c \frac{\partial T_W}{\partial t} - \lambda_W \frac{\partial^2 T_W}{\partial x^2} - \frac{4}{d_a^2 - d_i^2} [d_i \alpha_i (T_F - T_w) + d_a \alpha_a (T_U - T_w)] - \frac{4 \cdot dQ_{HK}}{dx \pi (d_a^2 - d_i^2)} = 0$$

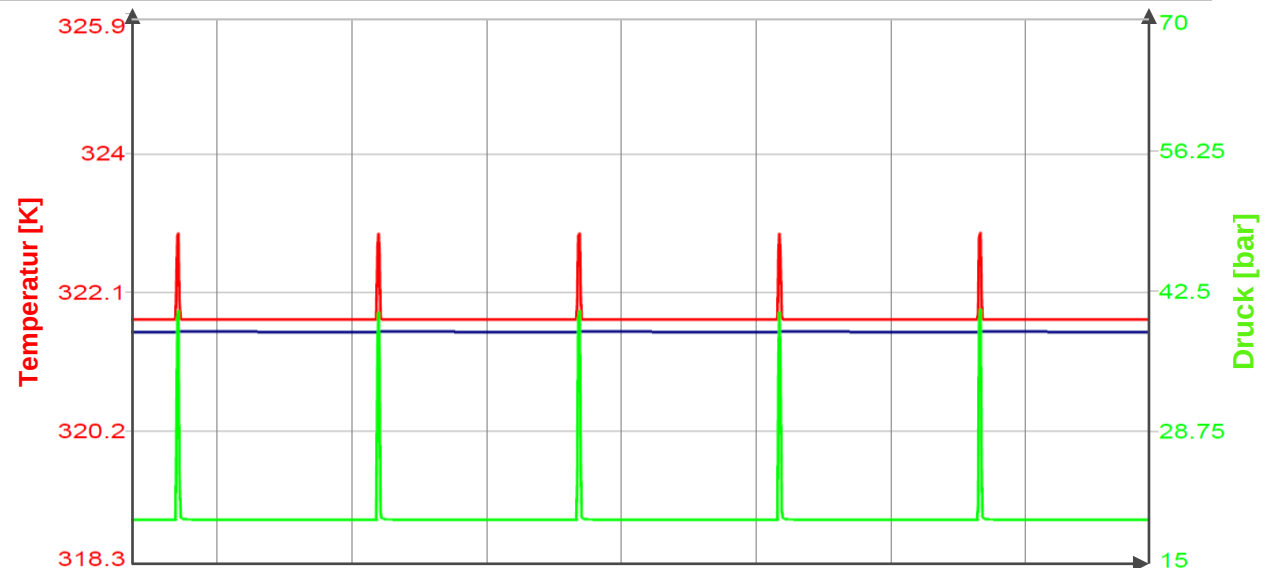
Validierung des neuen Rohrmodells – stationärer Temperaturverlauf



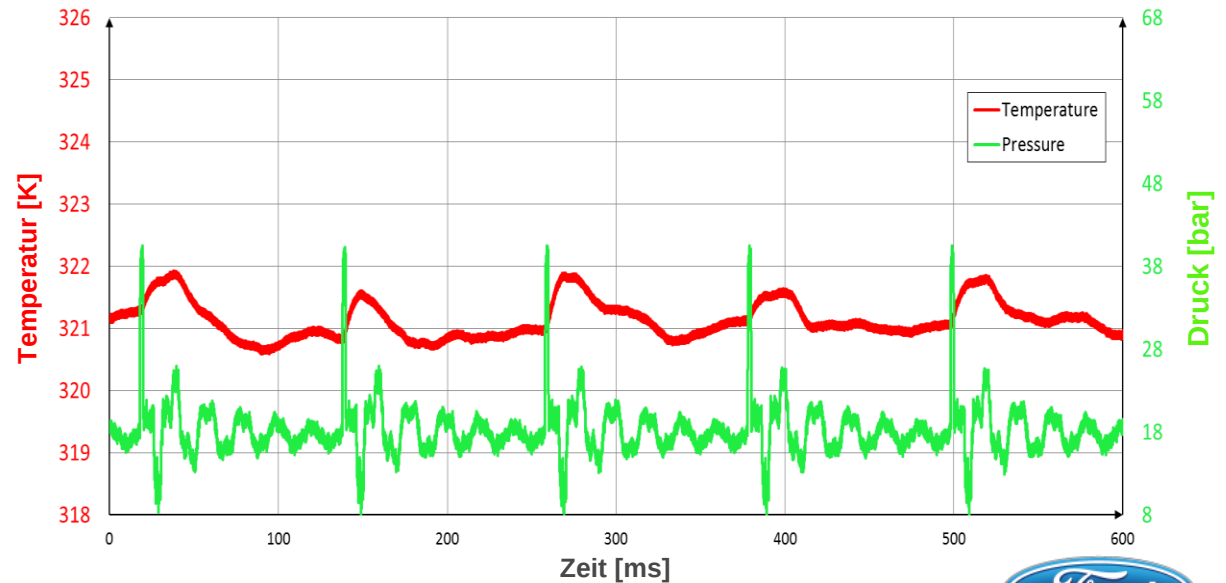
Vergleich eines analytisch berechneten Temperaturverlaufs mit dem numerisch berechneten Temperaturverlauf des Thermo-Rohrs.

Validierung des neuen Rohrmodells – instationärer Temperaturverlauf

Simulation



Messung



Das „Thermo-Rohr“ ist ebenfalls in der Lage, diverse instationäre Temperaturänderungen zu berechnen.

INHALTSVERZEICHNIS

1

Einleitung

2

Analyse

3

Ermittlung des tatsächlichen Einspritzverlaufs

4

„Thermo-Rohr“

5

Zusammenfassung



Eine Idee weiter

ZUSAMMENFASSUNG

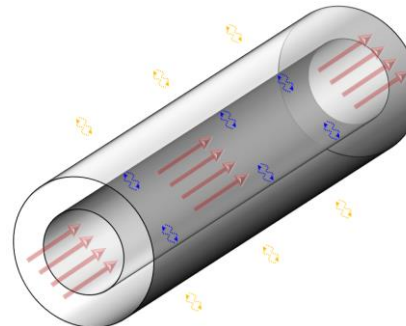
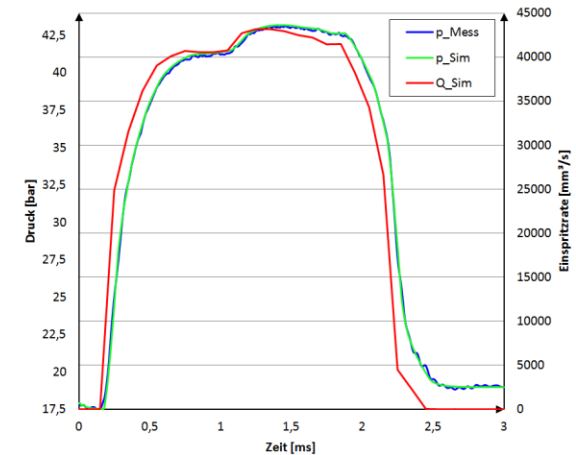
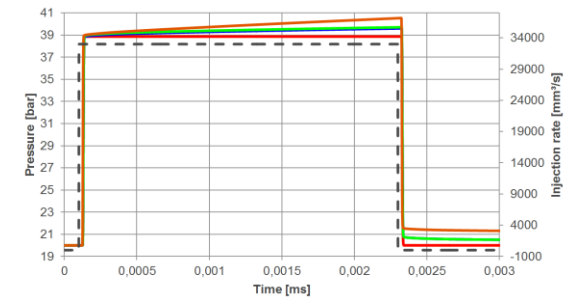
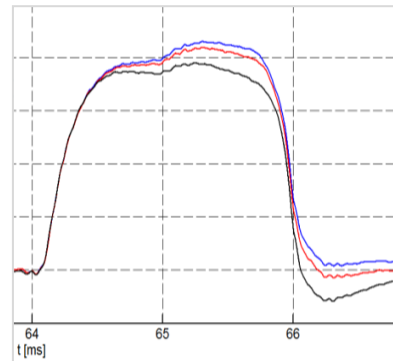
Der mit einem EVI ermittelte Einspritzverlauf weist prinzipbedingte Fehler auf.

Diese Fehler wurden sowohl theoretisch als auch simulativ analysiert.

Messungen konnten die gefundenen Erkenntnisse bestätigen.

Es wurde ein Modell entwickelt, um das fehlerbehaftete Signal zu korrigieren.

Parallel dazu wurde in Zusammenarbeit mit der Fluidon ein neues Rohrmodell entwickelt, welches diabate Rohrströmungen simulieren kann.



**VIELEN DANK FÜR IHRE
AUFMERKSAMKEIT**

HABEN SIE FRAGEN?



Eine Idee weiter